

## **ЗАЗЕМЛЕНИЕ В УСТАНОВКАХ АВТОМАТИЗАЦИИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

*А.В. Крупнов, Л.С. Араратьян, С.В. Елкин*

С развитием технологий к устройству заземления электроустановок стали предъявлять более строгие требования. Неправильное проектирование (подключение) заземления или не обеспечение требуемого значения его сопротивления приводит к ошибкам или повреждению дорогостоящей электронной (цифровой) аппаратуры систем автоматизации и телемеханики, а также шуму в линиях передачи данных. Вопрос заземления современной электроники тесно связан с обеспечением ее электромагнитной совместимости (ЭМС).

В статьях [1, 2, 3, 11] рассмотрены вопросы ЭМС современной электронной аппаратуры и электромагнитной обстановки на объектах энергетики, приводя замеры различных помех. Из перечисленных статей вытекает вопрос важности правильного проектирования заземления.

Попробуем раскрыть вопрос заземления подробнее. Вопрос защитного заземления (ЗЗ) в ПУЭ [4 гл. 1.7, гл. 7.3] и ГОСТ [5, 6] рассмотрен подробно, поэтому достаточно будет упомянуть, что оно обязательно во всех электроустановках (ЭУ) взрывоопасных зон и в ЭУ с напряжением питания свыше 42 В переменного и 110 В постоянного тока. В стандарте [7] представлены требования к ЭУ обработки информации и дано определение функционального (рабочего) заземления (ФЗ) для этого оборудования. ФЗ – заземление для обеспечения нормального функционирования аппарата, на корпусе которого по требованию разработчика не должен присутствовать даже малейший электрический потенциал (иногда для этого требуется наличие отдельного электрически независимого заземлителя). Для правильного функционирования цифровой аппаратуры, уравнивания потенциалов и обеспечения ЭМС этого оборудования необходимо правильно проектировать защитное и функциональное заземления. В стандарте [8] рассмотрены вопросы обеспечения ЭМС, но все равно не даны полные и развернутые ответы с примерами выполнения контура заземления различных типов ЭУ и линий передачи данных.

В п. 1.7.82 [4] изложено общее правило соединения проводящих частей для уравнивания потенциалов здания с ЭУ до 1 кВ, содержащих электронную аппаратуру.

Обязательное наличие защитного заземления приводит к увеличению уровня помех. Для улучшения ЭМС систем автоматизации и уменьшения вредного влияния цепей заземления необходимо раздельное выполнение систем заземления для устройств с разной чувствительностью к помехам. Схема заземления в таком случае представляется радиальной в виде звезды, где лучи звезды являются разными системами заземления, а центр – шина ЗЗ здания. Такой подход позволяет помехам «грязной» земли не протекать по проводникам «чистой» земли.

В автоматизации применяются виды заземлений.

*Силовое заземление*, когда присутствуют электромагнитные реле, микрометрические серводвигатели и другие устройства, ток потребления которых превышает ток потребления модулей ввода/вывода и контроллеров. Общий провод такой системы – силовая земля.

Системы автоматизации являются аналогоцифровыми, поэтому одним из источников погрешностей аналоговой части является помеха, создаваемая цифровой частью системы. Для исключения прохождения помех через цепи заземления цифровую и аналоговую землю выполняют в виде несвязанных проводников, соединенных вместе

только в одной общей точке. Для этого модули ввода/вывода и контроллеры имеют отдельные выводы *аналоговой (AGND)* и *цифровой земли (DGND)*.

Для точных измерений может потребоваться отдельная земля – *автономная земля*, выполненная по технологии искусственного заземления в грунт и соединенная с общим заземлением здания только в одной точке для целей выравнивания потенциала между разными землями, что важно для защиты при ударе молнии.

Для обеспечения эффективного заземления, необходимо заземляющие проводники выполнять короткими [9]. Не рекомендуется располагать заземляющие проводники (ЗП) близко друг к другу, так как возникает между ними помехи через взаимную индуктивность. ЗП не должны образовывать замкнутых контуров, которые являются приемниками (антеннами) электромагнитных наводок. ЗП не должен касаться других металлических предметов, поскольку такие случайные нестабильные контакты могут быть источником дополнительных помех.

Примером гальванически связанной цепи является соединение источника и приемника стандартного сигнала 0–5 В (рис. 1).

Деление на аналоговую, цифровую, силовую и защитную землю с последующим соединением в одной точке является необходимым условием ослабления связи через общий проводник заземления. При разделении заземлений гальванически связанных цепей используется общий принцип: цепи заземления с большим уровнем шума должны выполняться отдельно от цепей с малым уровнем шума, а соединяться в одной общей точке. Точек заземления может быть несколько, если схема такой цепи не приводит к появлению участков «грязной» земли в контуре, включающем источник и приемник сигнала, а также, если в цепи заземления не образуются замкнутые контуры. Недостатком такого разделения проводников может быть низкая эффективность на высоких частотах. Поэтому заземление в одной точке используется на частотах до 1 МГц, свыше 10 МГц заземлять лучше в нескольких точках, а в промежуточном диапазоне от 1 до 10 МГц следует использовать одноточечную схему, если наиболее длинный проводник в цепи заземления меньше  $1/20$  от длины волны помехи. Иначе надо использовать многоточечную схему [11].

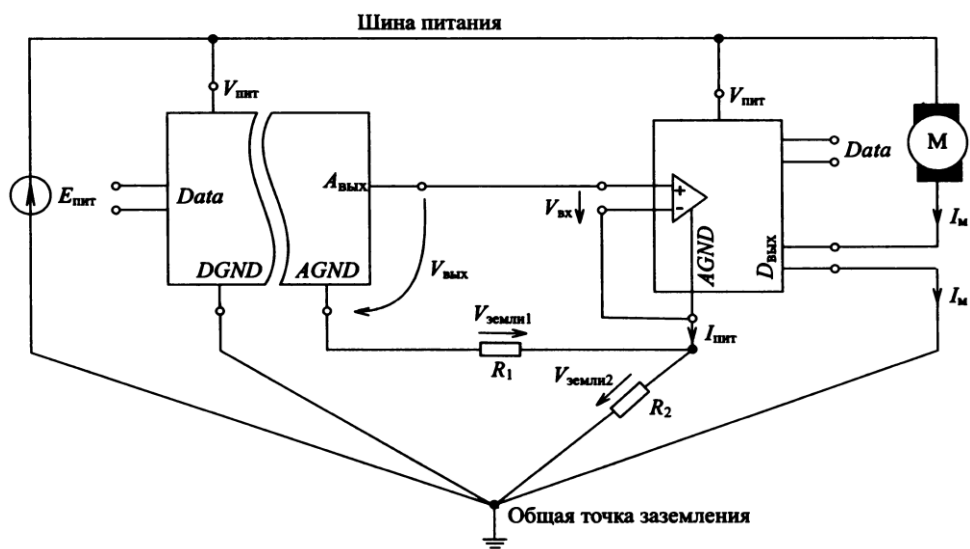


Рис. 1. Пример правильного заземления гальванически связанной цепи

Применение гальванически развязанных цепей позволяет разделить аналоговую и цифровую землю, а это исключает протекание токов помехи от силовой и цифровой земли по аналоговой земле (рис. 2). Аналоговая земля может быть соединена с ЗЗ через сопротивление  $R_{AGND}$ .

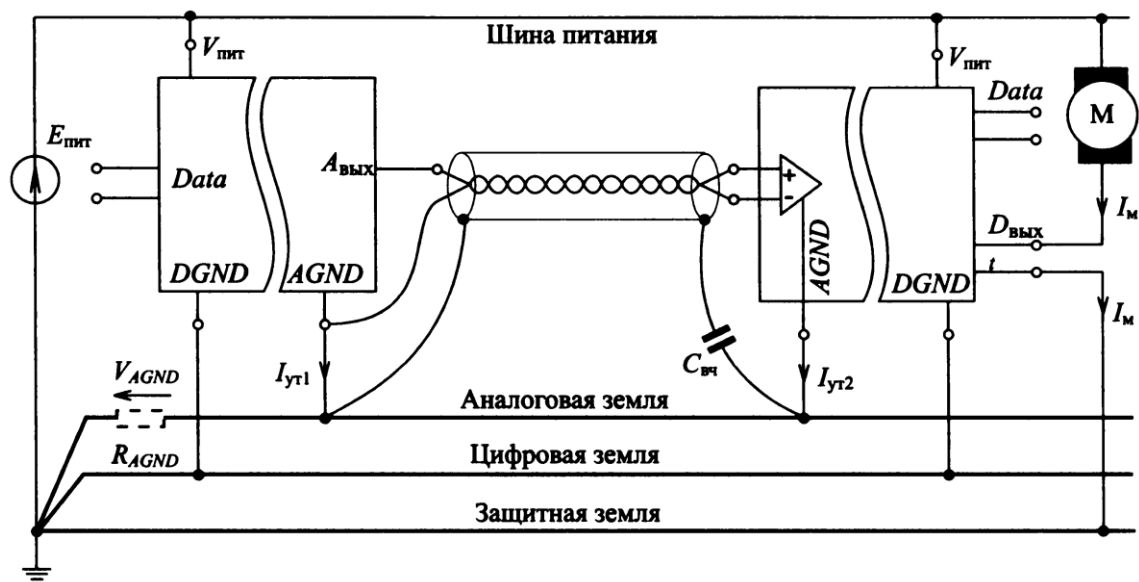


Рис. 2. Пример правильного заземления гальванически развязанной цепи

Сигнальные кабели выполняются витой парой с экраном. При частотах помех не более 1 МГц кабель заземляется только с одной стороны, так как заземление с двух сторон образует замкнутый контур – приемник электромагнитных помех (рис. 3). Экран заземляется со стороны источника сигнала. Но если источник сигнала не заземлен, то заземление можно выполнить с любой стороны [11]. При частотах больше 1 МГц экран кабеля заземляют с обеих сторон. Для промежуточного варианта, когда длина кабеля в 10 раз меньше длины волны помехи, можно использовать конденсатор  $C_{вч}$ , выполняющий роль фильтра помех высоких частот [12].

На электрических подстанциях для обеспечения электробезопасности экран кабеля заземляют с двух сторон. Для обеспечения ЭМС этот способ оправдан, когда электромагнитная наводка с частотой 50 ГГц больше наводки от протекания выравнивающего тока через экран. Рациональным решением этой проблемы является переход на оптоволоконные кабели.

Интеллектуальные датчики – датчики, содержащие микроконтроллер для линеаризации характеристик преобразования датчика. Так как цифровая часть датчика совмещена с аналоговой, то при неправильном заземлении выходной сигнал имеет неприемлемый уровень шума. Представлен датчик (рис. 4), содержащий цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с токовым выходом, который требует подключения нагрузки. Поэтому полезный сигнал получается падением напряжения на нагрузочном резисторе  $R_{нагр}$  при протекании выходного тока датчика, а следовательно, недопустимо совмещение DGND с AGND, так как ток DGND окажет влияние на напряжение на нагрузке.

Для улучшения ЭМС аппаратуры необходимо придерживаться некоторых правил. В пределах стойки шкафа необходимо группировать аналоговые и цифровые сигналы отдельно, чтобы уменьшить длину участков параллельного прохождения цепей DGND и AGND в кабельном канале. Заземление стоек желательно выполнять в одной точке для обеспечения одинакового потенциала их земель. Нельзя допускать создание замкнутого контура в цепи заземления. Невозможно соединять вывод силовой земли блока питания с корпусом шкафа, а не на клемме заземления, так как начнет протекать ток помехи. Недопустимо подключать выводы земли аппаратуры к корпусу шкафа, так как корпус шкафа становится источником индуктивной наводки на все провода, проходящие вдоль его стен. Пример выполнения перечисленных требований представлен на рис. 5.

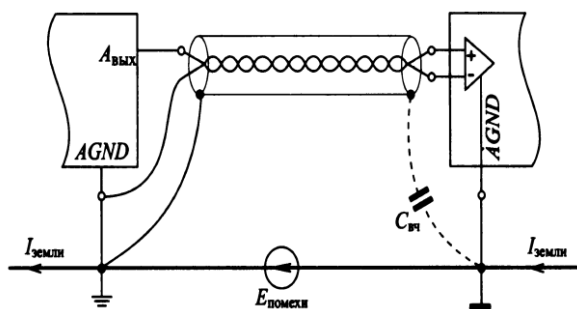


Рис. 3. Пример правильного заземления экрана

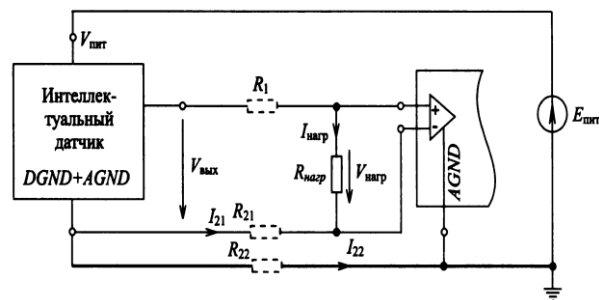


Рис. 4. Пример правильного заземления интеллектуального датчика

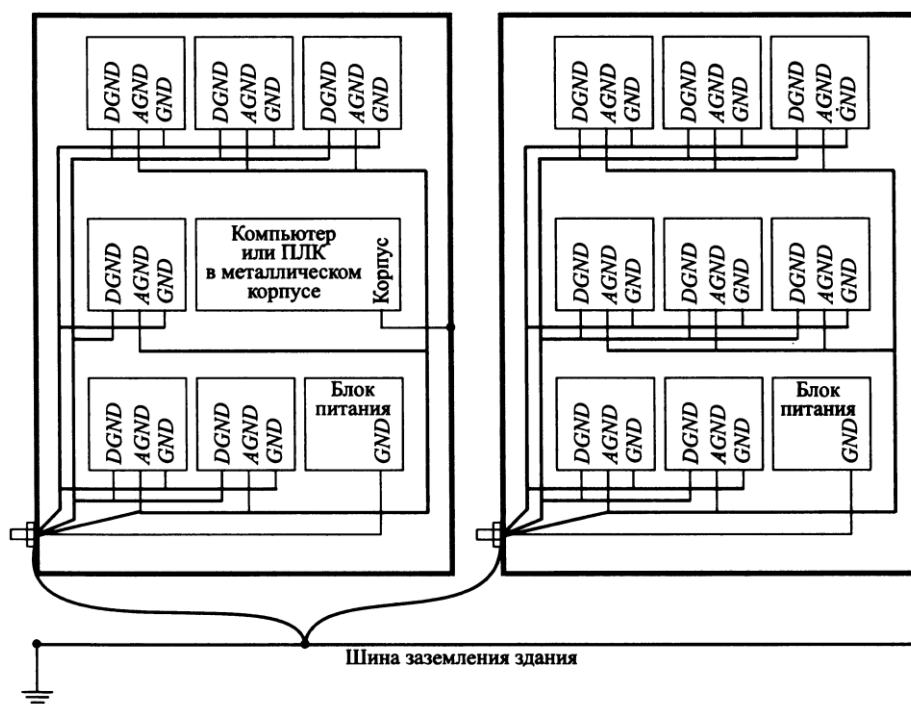


Рис. 5. Пример правильного заземления шкафов с оборудованием автоматизации

Цепи питания двигателей с импульсным управлением, двигателей сервоприводов, исполнительных устройств с ШИМ-управлением должны выполняться витой парой с экраном (оплеткой). Экран кабеля заземляется с одной стороны.

Выводы.

1. В пределах системы автоматизации необходимо использовать отдельную заземляющую медную шину, соединив ее с шиной защитного заземления в одной точке.
2. Соединение аналоговой, цифровой и силовой земли следует выполнять в одной точке. Если это невозможно, то заземляющая медная шина должна быть с большой площадью поперечного сечения для уменьшения сопротивления между разными точками подключения земель.
3. Нежелательно появление замкнутых контуров в цепи заземления.
4. Заземляющие проводники с большим током должны проходить отдельно от цепей управления, передачи данных и сигнализации.
5. Заземляющий проводник должен по возможности иметь малое количество изгибов и короткое расстояние между выводом контакта заземления электроустановки и шиной заземления.
6. Необходимо использовать экранированные кабели, а экран заземлять. По возможности желательно переходить на оптоволокно в цепях управления и передачи данных.

1. Матвеев, М.В. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры / М.В. Матвеев // Новости Электротехники. 2002. № 1(13), 2 (14).
2. Матвеев, М.В. ЭМС цифровой аппаратуры диктует новые требования к заземляющим устройствам / М.В. Матвеев // Новости Электротехники. 2004. № 1 (25). С. 50–53.
3. Матвеев, М.В. Помехи на объекте и устойчивость аппаратуры РЗА. Сравнение уровней, оценка и анализ / М.В. Матвеев // Новости Электротехники. 2004. № 2(26).
4. Правила устройства электроустановок: все действующие разд. 6 и 7 изд. М.: КноРус, 2010. 487 с.
5. ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005). Электроустановки низковольтные. Часть 4–41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током. Введ. 2011-01-01. М.: Стандартиформ. 24 с.
6. ГОСТ Р 50571.5.54-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартиформ. 20 с.
7. ГОСТ Р 50571.22-2000. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации. Введ. 2002-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов. 12 с.
8. ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007). Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех. Введ. 2012-07-01. М.: Стандартиформ. 50 с.
9. Kosc D., Hamer P. S. Grounding practices – A system-wide systematic approach. // IEEE Trans. on Industry Applications. 2003. Vol. 39, №. 5. P. 1475–1485.
10. Денисенко, В.В. Заземление в системах промышленной автоматизации. Часть 1 / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. 2006. № 2 . С. 94–99.
11. Денисенко В.В. Заземление в системах промышленной автоматизации. Часть 2 / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. 2006. № 3. С. 94–107.
12. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. / В.В. Денисенко. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 608 с.